

玄海原子力発電所 緊急時対策棟の
工事現場における負傷者発生の原因と対策について

2022年 2月 2日
九州電力株式会社

目 次

1	発生日時	1
2	発生場所	1
3	運転状況	1
4	発生状況	1
5	作業概要	1
6	負傷者発生の原因調査及び結果	2
7	推定原因	4
8	対策	5
	添付資料	6

1 発生日時
2021年12月11日（土） 11時00分頃

2 発生場所
玄海原子力発電所 緊急時対策棟の工事現場

3 運転状況
・玄海原子力発電所1号機：廃止措置段階
・玄海原子力発電所2号機：廃止措置段階
・玄海原子力発電所3号機：運転中
・玄海原子力発電所4号機：運転中

4 発生状況
緊急時対策棟（以下、「緊対棟」という）設置工事において、クレーンで鉄筋ユニット^{*}を吊り降ろし、床側に配置された鉄筋と接続（機械式継手で接続）しようとした際、鉄筋1本（直径38mm、長さ10m、重さ約90kg）が落下し、2名の作業員に接触した。

※鉄筋を予め決められた間隔で格子状（横11.0m、縦6.1m）に組み立てたもの

（添付資料－1）

<時系列>

2021年12月11日（土）

10時35分 当該鉄筋ユニット取り付け作業開始

11時00分頃 鉄筋1本が落下し2名の作業員に接触

11時19分 元請会社社員から当直課長へ救急車を要請することを連絡

11時20分 救急車2台要請

5 作業概要

緊対棟は鉄筋コンクリート造であるため、コンクリートを打つ前の鉄筋を取り付ける作業を行っていた。

作業ヤードで組み立てた鉄筋ユニットを、吊り具を用いてクレーンで吊り込み、取り付け高さの手前で一旦停止させ、床側に配置された鉄筋に取り付けられた機械式継手の差し込み作業を行った後、鉄筋ユニットを吊り降ろし、機械式継手にて縦筋を固定する。その後、鉄筋ユニットの横から張り出した部分（以下、「はね出し部」という）を、先に取り付けられた壁用の鉄筋（以下、「壁筋」という）の、横筋を支えるためのフック（以下、「段取り筋フック」という）に載せ、既設置済の鉄筋ユニットの横筋と結束線で結束することで取り付けを完了させる。

（添付資料－2）

6 負傷者発生の原因調査及び結果

(1) 負傷者発生時の現場状況調査

- a 当該鉄筋ユニット
 - ・上から7番目の横筋が地面に落下していることを確認した。
 - ・上から7番目の横筋と縦筋を結束していた結束線は全て断線していた。
- b 先に取り付けられた壁筋
 - ・複数の段取り筋フックに傷が見られた。
- c クレーン
 - ・吊り荷の許容荷重は約5.9 tであり、鉄筋ユニットの重量約3.6 tに対して十分な裕度を有していた。
 - ・外観を確認したところ、異常は見られなかった。
- d 鉄筋ユニットの吊り具
 - ・外観を確認したところ、異常は見られなかった。
- e 機械式継手、床側に配置された鉄筋
 - ・外観を確認したところ、異常は見られなかった。

(2) 作業関係者への聞き取り調査

a 計画段階

(a) 工法の選定

鉄筋ユニット工法は、事前に組み立てることで鉄筋の吊り込み回数や狭隘な場所での取り付け作業量を低減し、安全性を向上させることができ、当社の原子力発電所で実績のある工法である。

緊対棟工事においても、鉄筋ユニットを組み立てる十分な広さの作業ヤードを確保できることから同工法を選定した。

なお、本施工前には吊り込み作業時における結束線の強度が問題ないことを確認しており、更にモックアップ（模擬）による試験施工を行い、作業性の確認を行っている。

（当該鉄筋ユニットの構造）

長さ5.4 mの鉄筋を縦に39本、長さ10 mの鉄筋を横に19本、格子状に配置し、吊元となる縦筋と交差する横筋に固定金具（縦横連結金具：30箇所）及び結束線（直径2.6 mm：66箇所、直径1.2 mm：197箇所）で結束

b 作業準備段階

(a) 作業要領書の作成

モックアップ（模擬）による試験施工で確認した作業手順及び注意事項を反映した作業要領書を作成した。

(b) 事象発生当日までの作業状況

- ・緊対棟工事現場での鉄筋ユニット取り付け作業は11月2日から行っており、11月18日まで計20ユニット取り付けたが、鉄筋の落下などの異常は発生していなかった。
- ・事象発生当日の12月11日も2ユニット取り付けたが鉄筋の落下などの異常は発生していなかった。
- ・鉄筋ユニットが設置済みの鉄筋に接触する事象は発生していたが、作業安全に影響を与えていないと考えられていたため、関係者間で情報が十分に共有されていなかった。

c 作業段階

(a) 当該鉄筋ユニット組立状況確認（地上）

- ・作業要領書に従い、当該鉄筋ユニットを組み立てた。
- ・吊り位置、結束位置及び結束状態に異常がないことを確認した。

(b) 鉄筋ユニット吊り降ろし（取り付け位置手前まで）

鉄筋ユニットを取り付け位置と足場の間に吊り、ゆっくり降下させた。その間、先に取り付けられた壁筋の段取り筋フックへの、上から7番目の横筋の引っ掛かりや結束線の断線等の異常に気づいた人はいなかった。

取り付け高さの約5cm上部まで吊り降ろした際、上から7番目の横筋の垂れ下がりが大きかったため、先に取り付けられた壁筋の段取り筋フックの上に横筋の位置を修正した。その際、他に垂れ下がっている横筋がないことや引っ掛かっている横筋がないことは確認したが、上から7番目の横筋と縦筋との結束箇所の結束線が断線していないかは確認しなかった。

(c) 鉄筋ユニット取り付け

鉄筋ユニットを降下し、床側に配置された鉄筋と接触した際の衝撃で、はね出し部の鉄筋が、段取り筋フックから外れ、振れ落ち、その振動で残りの結束線が断線し、上から7番目の横筋が落下した。

落下した鉄筋が、地下2階床面で機械式継手の取り付け作業中であった作業員2名に接触した。

(3) 鉄筋ユニットの施工実績

これまでの玄海（特定重大事故等対処施設（以下、「特重」という））及び川内（特重、緊対棟）での施工実績を確認したところ、玄海（特重）の一部の建屋及び川内（特重、緊対棟）では、作業ヤードが確保できなかったことから、格子状に組み立てた鉄筋ユニットは採用していない。

また、玄海（特重）における他の建屋では、格子状に組み立てた鉄筋ユニットを採用したが、横筋のはね出し部がないことから、先に設置済みの鉄筋に引っ掛かる事象は発生せず、鉄筋の落下は発生していない。

なお、施工体制（元請、作業責任者、クレーン運転手、玉掛者、鉄筋工作員）については玄海と川内で大きな差異は見られなかった。

7 推定原因

(1) 鉄筋落下の推定メカニズム

- 鉄筋ユニットの吊り降ろし中に鉄筋ユニットのはね出し部が設置済みの鉄筋に引っ掛かり、そのまま作業を継続したため、7箇所 of 結束箇所の一部が断線した。
- その後、床側に配置された鉄筋と接続するために当該鉄筋ユニットを接触させた際、衝撃で鉄筋が段取り筋フックから振れ落ち、その振動で残りの結束線が断線し、鉄筋が落下した。

（添付資料－3）

なお、実証試験を行い、上記のメカニズムで結束箇所が断線し、鉄筋が落下する現象を確認した。

（添付資料－4）

(2) 鉄筋落下の推定原因

- 結束線は吊り込み時の荷重に対しては十分な耐力を有していたが、鉄筋ユニットが設置済みの鉄筋に引っ掛かることを想定できていなかったため、引っ掛かった際に加わる力に対し、結束線の耐力が不足していた。
- 鉄筋ユニットの引っ掛かりや結束線の断線等の異常に気付かず作業を継続した。

8 対 策

(1) 落下した鉄筋の処置

当該鉄筋ユニットから落下した鉄筋 1 本は使用せず廃棄し、新規の鉄筋を取り付ける。

(2) 再発防止対策

- ① 結束線を使用しない縦筋と横筋に分割したユニットに見直す。
- ② クレーンで鉄筋ユニットを吊り降ろす際は、鉄筋ユニットの状態（位置・高さ）、隣接鉄筋や足場への干渉を確認する監視員を増員し、異常があれば即時合図者へ伝達する。
- ③ 上記①、②を緊対棟設置工事の作業要領書に反映し、関係者に周知するとともに、必要な教育を実施する。

(添付資料－5)

原因調査のため、作業関係者に聞き取りを行ったところ、鉄筋のはね出し部の接触はこれまでも経験していたが、関係者間で情報が十分に共有されておらず、鉄筋のはね出し部の接触が作業安全に与える影響を考慮する意識が不足していることが判明したため、2020年度実施した作業点検を踏まえた幅広い視点での深掘りを行い、原子力工事現場の特殊性（鉄筋が太く本数も多いなど）を踏まえた危険感受性の向上などの新たな対策を充実した玄海原子力発電所における取組みを実施していく。

添付資料

添付資料－ 1 負傷者発生時の状況

添付資料－ 2 作業概要

添付資料－ 3 鉄筋落下の推定メカニズム

添付資料－ 4 鉄筋落下の実証試験

添付資料－ 5 再発防止対策の概要

負傷者発生時の状況

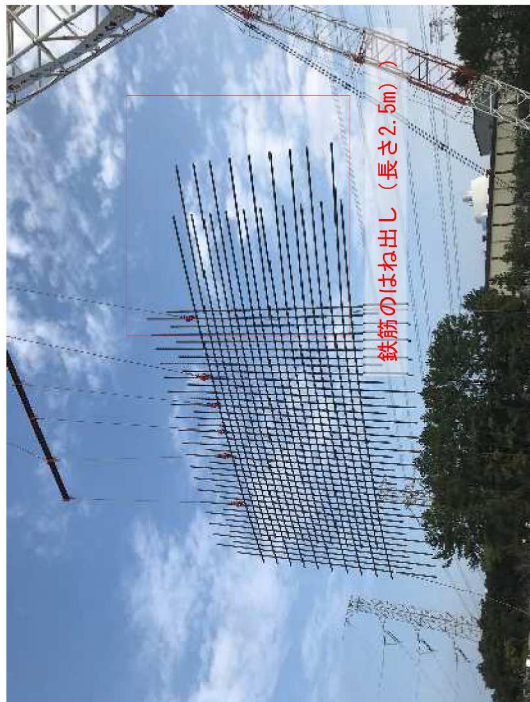
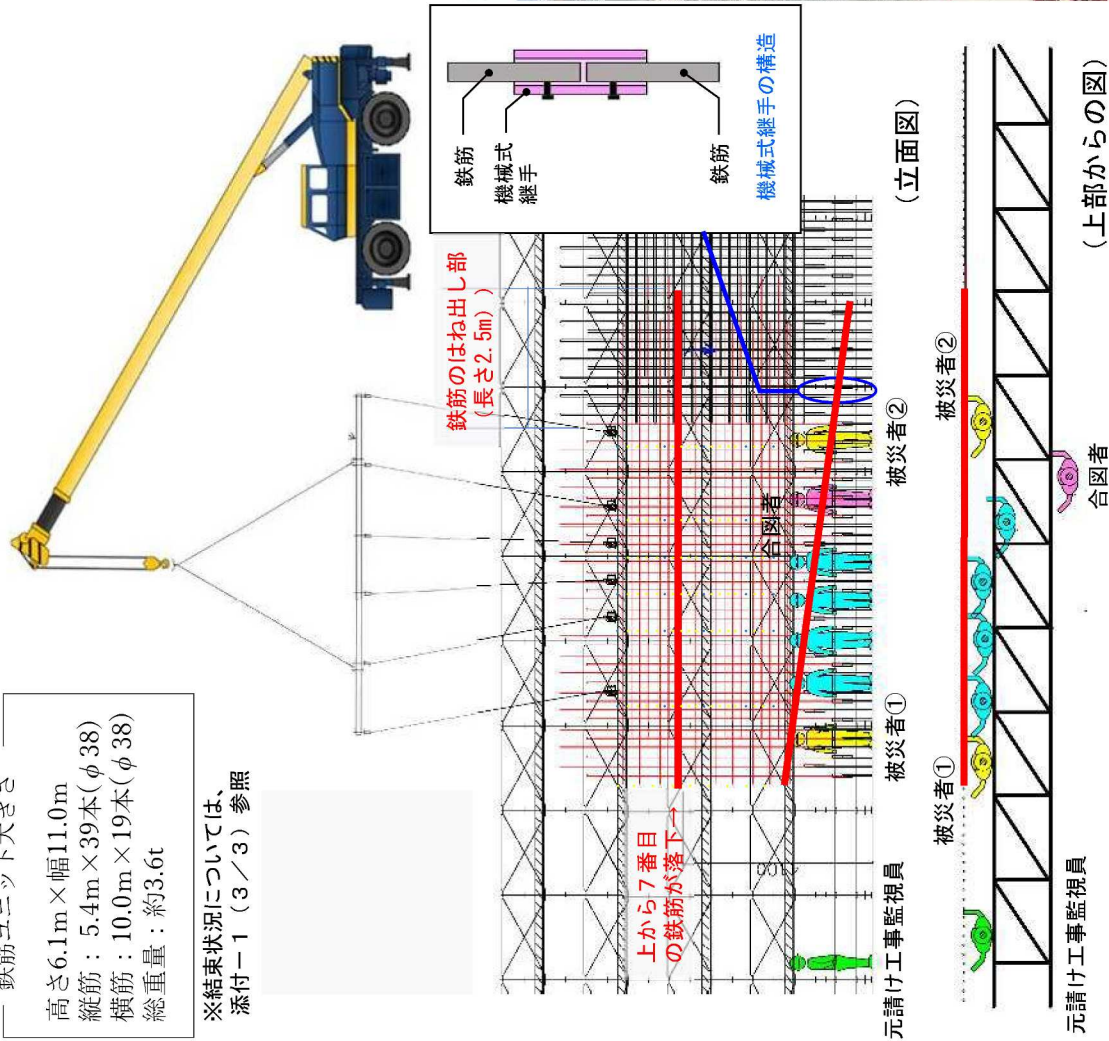
○事故発生状況

クレーンで鉄筋ユニットを吊り降ろし、床側に配置された鉄筋と接続（機械式継手で接続）しようとした際、鉄筋ユニットの跳ね出し部が設置済の鉄筋に引っ掛かり、鉄筋1本（直径38mm、長さ10m、重さ約90kg）が落下し、2名の作業員に接触した。

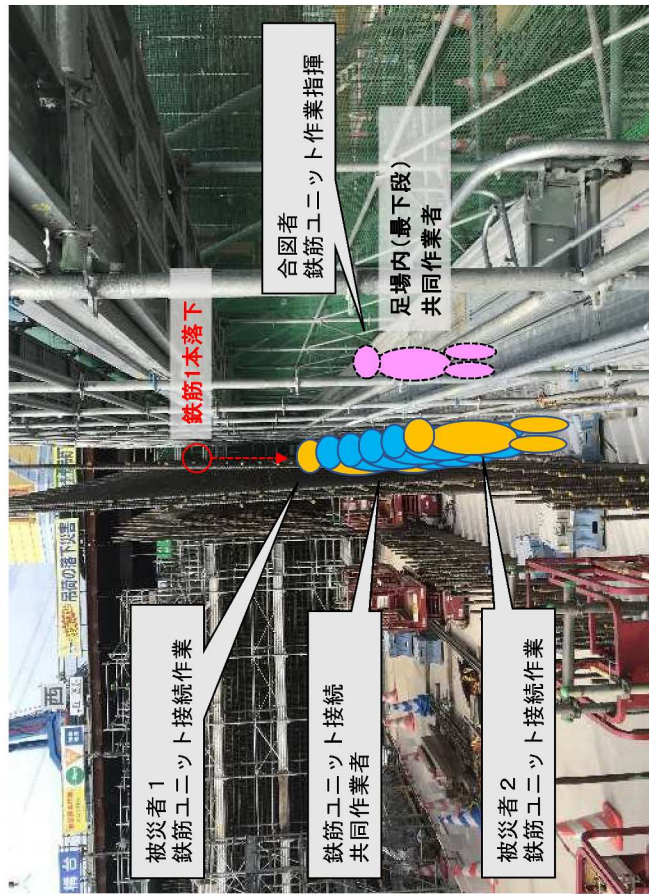
鉄筋ユニット大きさ

高さ 6.1m × 幅 11.0m
 縦筋：5.4m × 39本 (φ38)
 横筋：10.0m × 19本 (φ38)
 総重量：約3.6t

※結束状況については、添付ー1 (3/3) 参照

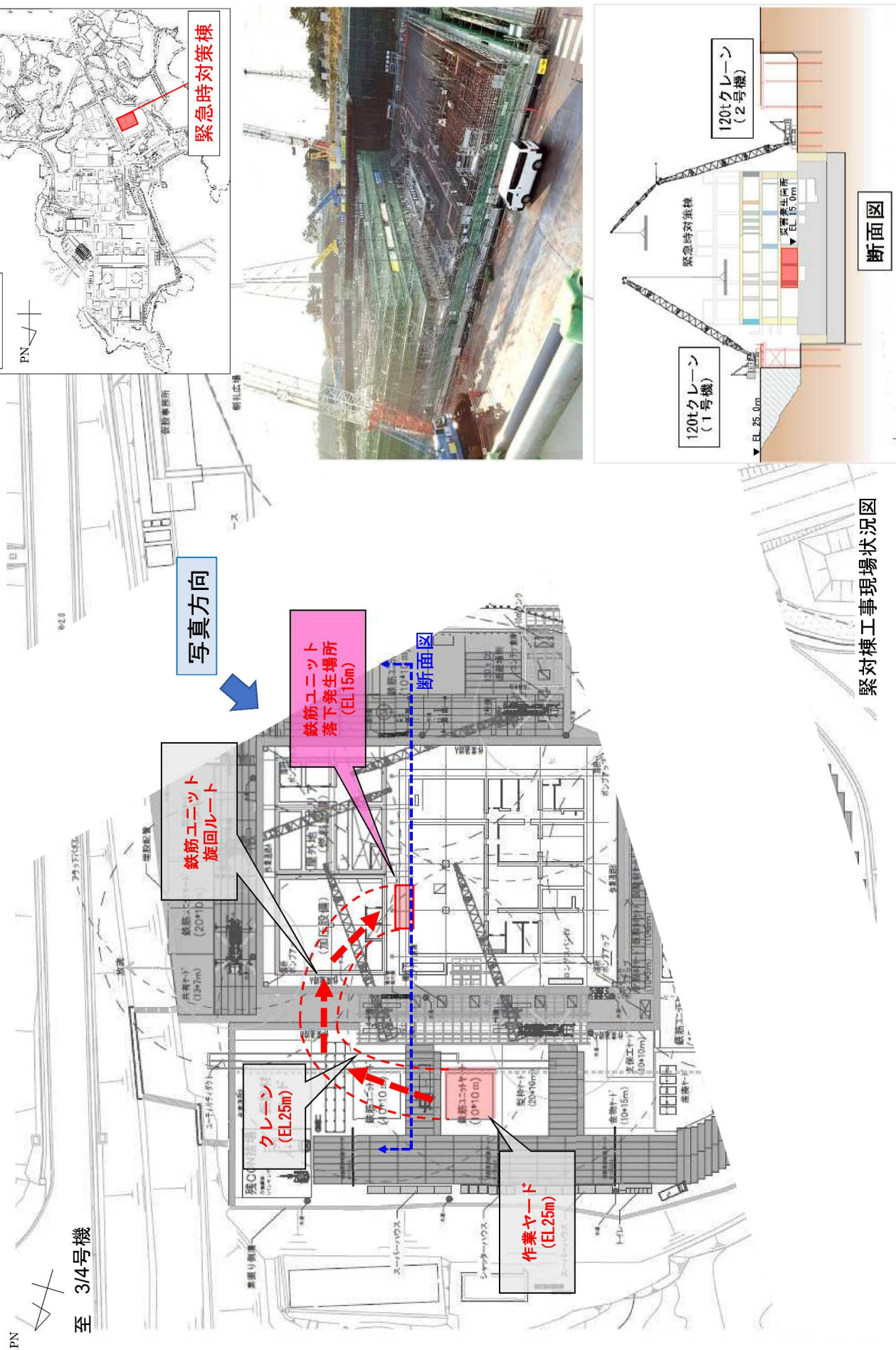


鉄筋ユニット吊り上げ状況図



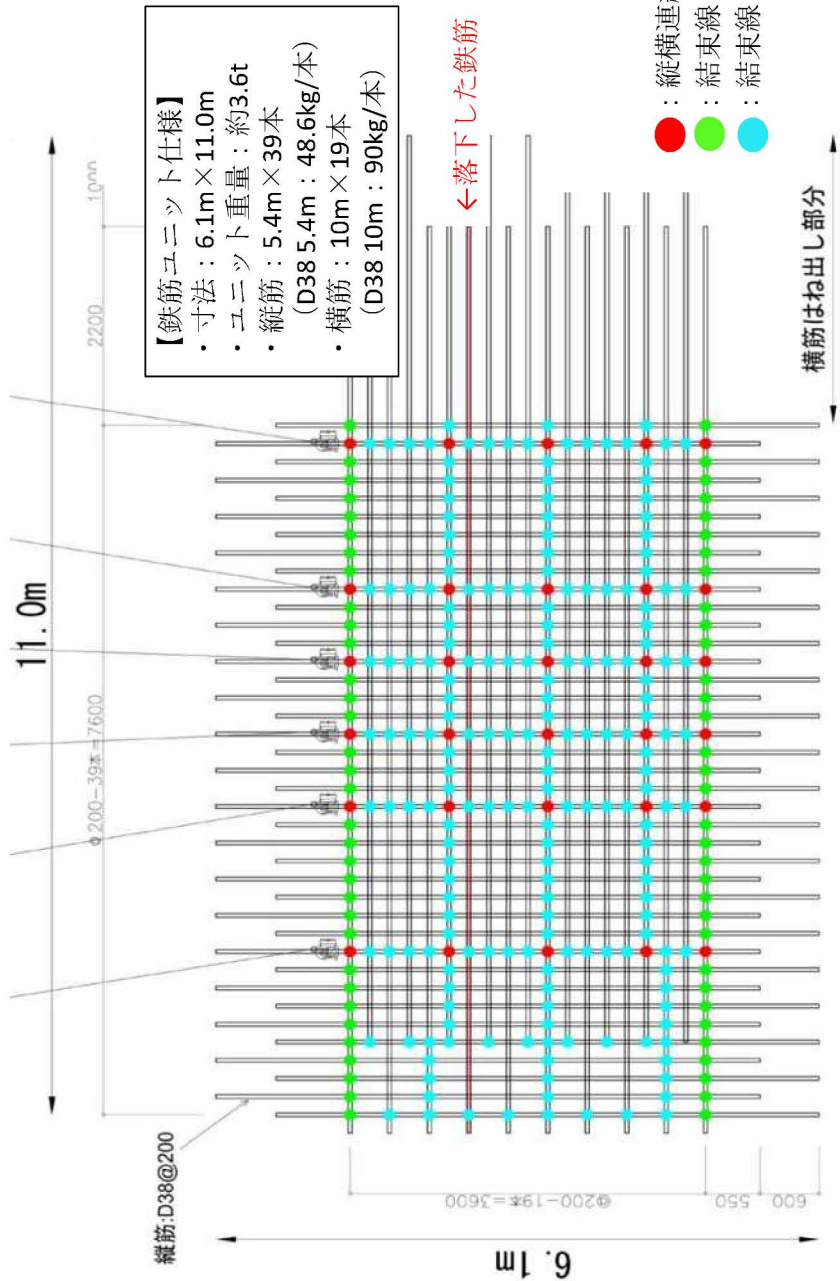
負傷者発生時の状況

○発生場所
構内（屋外）の緊対棟設置工事において発生。



負傷者発生時の状況

○鉄筋ユニット概要 (結束状況)
鉄筋ユニットは「縦横連結金具」、「結束線 (直径2.6mm)」及び「結束線 (直径1.2mm)」で結束。

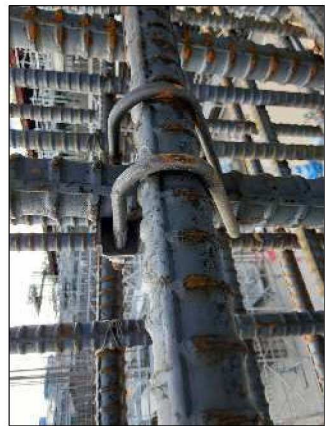


固定金物の固定方法と用途

固定金物	固定方法	用途
縦横連結金具	ボルトにより固定	4.5t/個の許容支持力を持つので、吊鉄筋固定で使用
結束線 (直径2.6mm)	縛り込むことで固定	縦筋と横筋最上段と最下段の固定
結束線 (直径1.2mm)	縛り込むことで固定	一般部縦筋と横筋の固定

- : 縦横連結金具
- : 結束線 (直径2.6mm)
- : 結束線 (直径1.2mm)

鉄筋ユニット詳細図



● 縦横連結金具



● 結束線 (直径2.6mm)

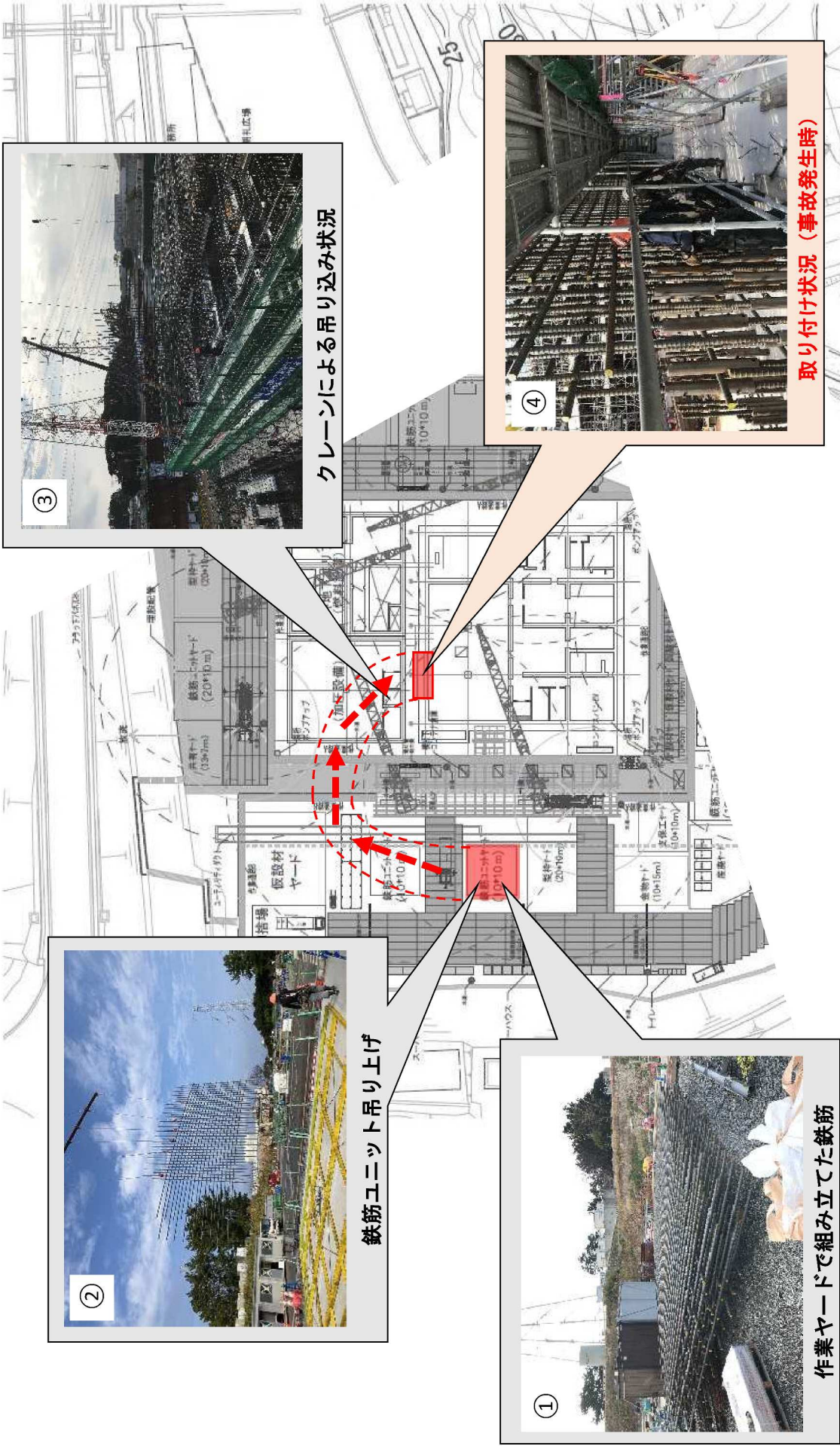


● 結束線 (線径1.2mm)

作業概要

- ・作業ヤードで組み立てた鉄筋ユニットを、吊り具を用いてクレーンで吊り込み(①→②→③)、取り付け高さの手前で一旦停止させる
- ・床側に配置された鉄筋に取り付けられた機械式継手の差し込み作業を行った後、鉄筋ユニット降下し、機械式継手にて縦筋を固定する。(④)
- ・その後、鉄筋ユニットのはね出し部を、先に取り付けられた壁筋の段取り筋フック※に乗せ、結束することで取り付けを完了させる。

※横筋を支えるためのフック：添付資料一2 (2/2) 参照



鉄筋ユニット吊り上げ



作業ヤードで組み立てた鉄筋



クレーンによる吊り込み状況

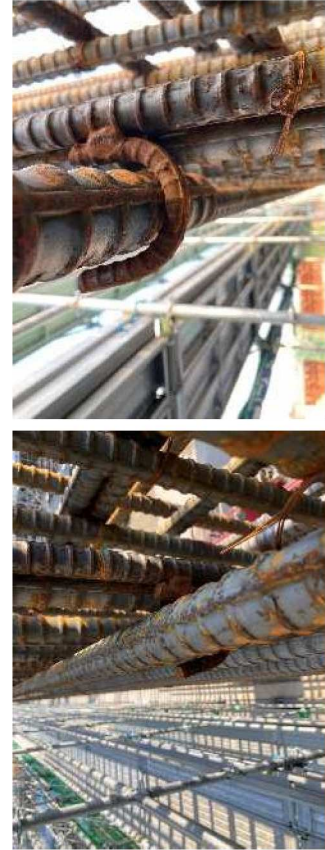
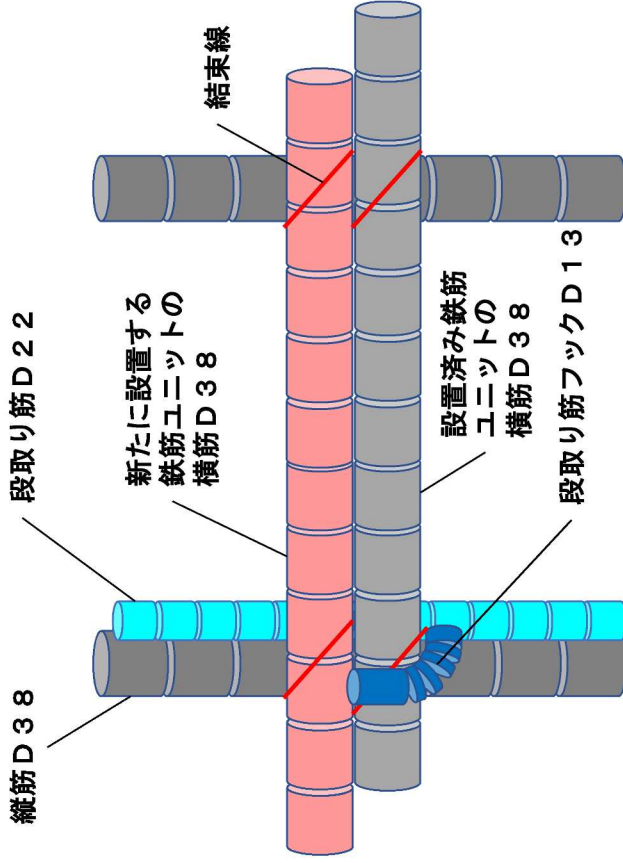
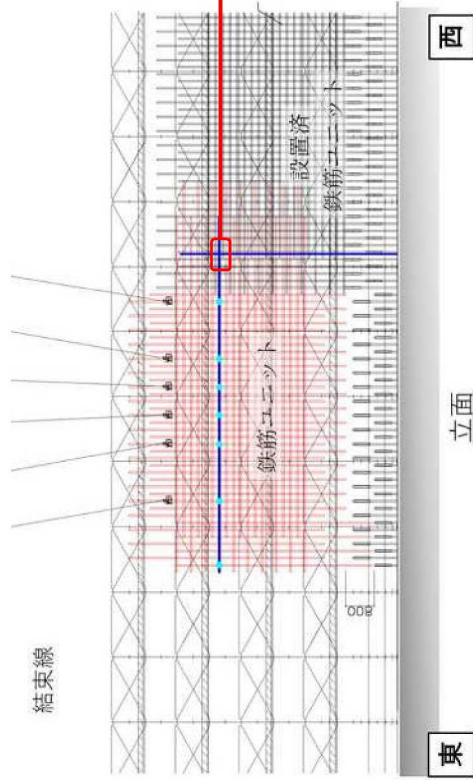


取り付け状況 (事故発生時)

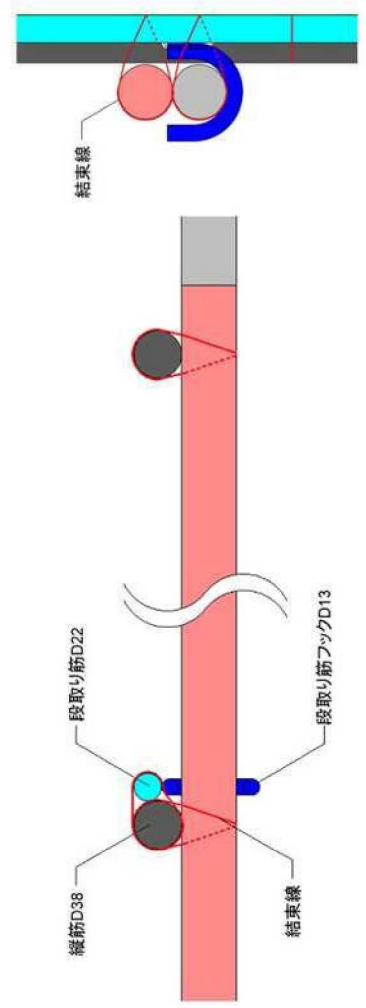
作業概要

縦筋、横筋、段取り筋の位置関係

前述の縦筋、横筋、段取り筋の位置関係を以下に示す。



モデル図



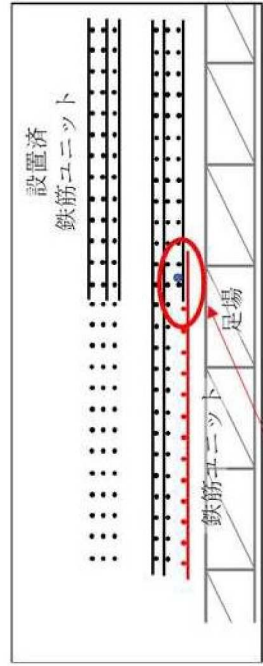
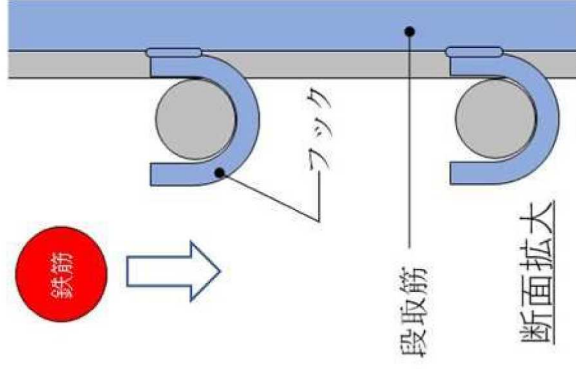
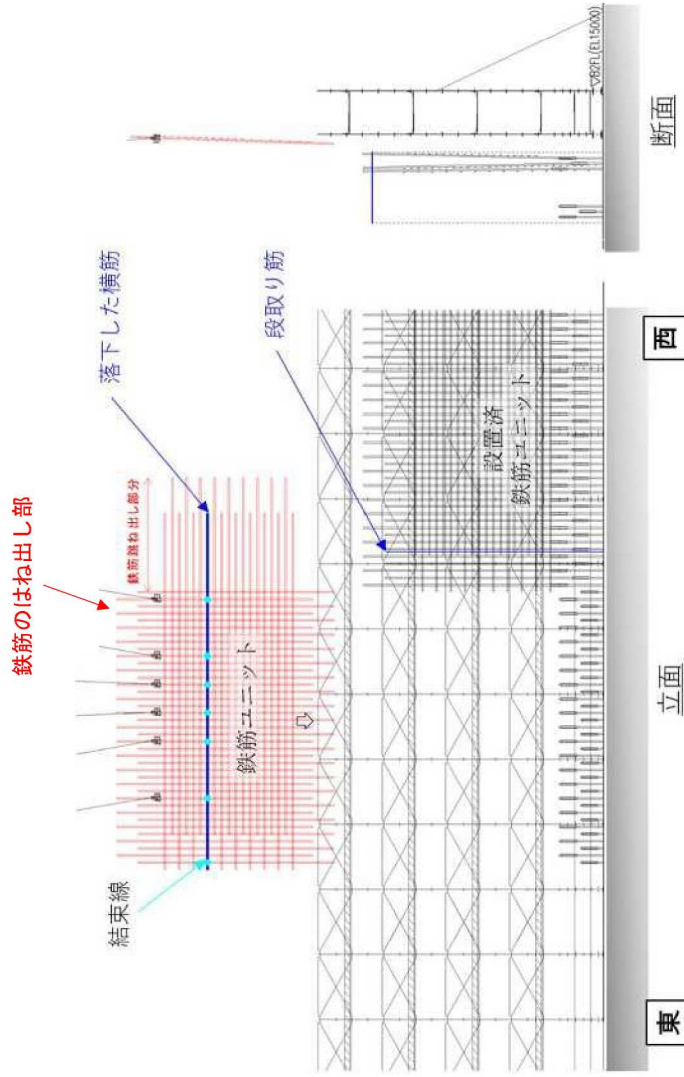
平面図

断面図

鉄筋落下の推定メカニズム (1/6)

<STEP1>

鉄筋ユニットが足場や段取り筋フックに当たらないようにゆっくり吊り降ろした。
 なお、落下した鉄筋は上から7番目の鉄筋であり、結束線(直径1.2mm)で7箇所固定していた。



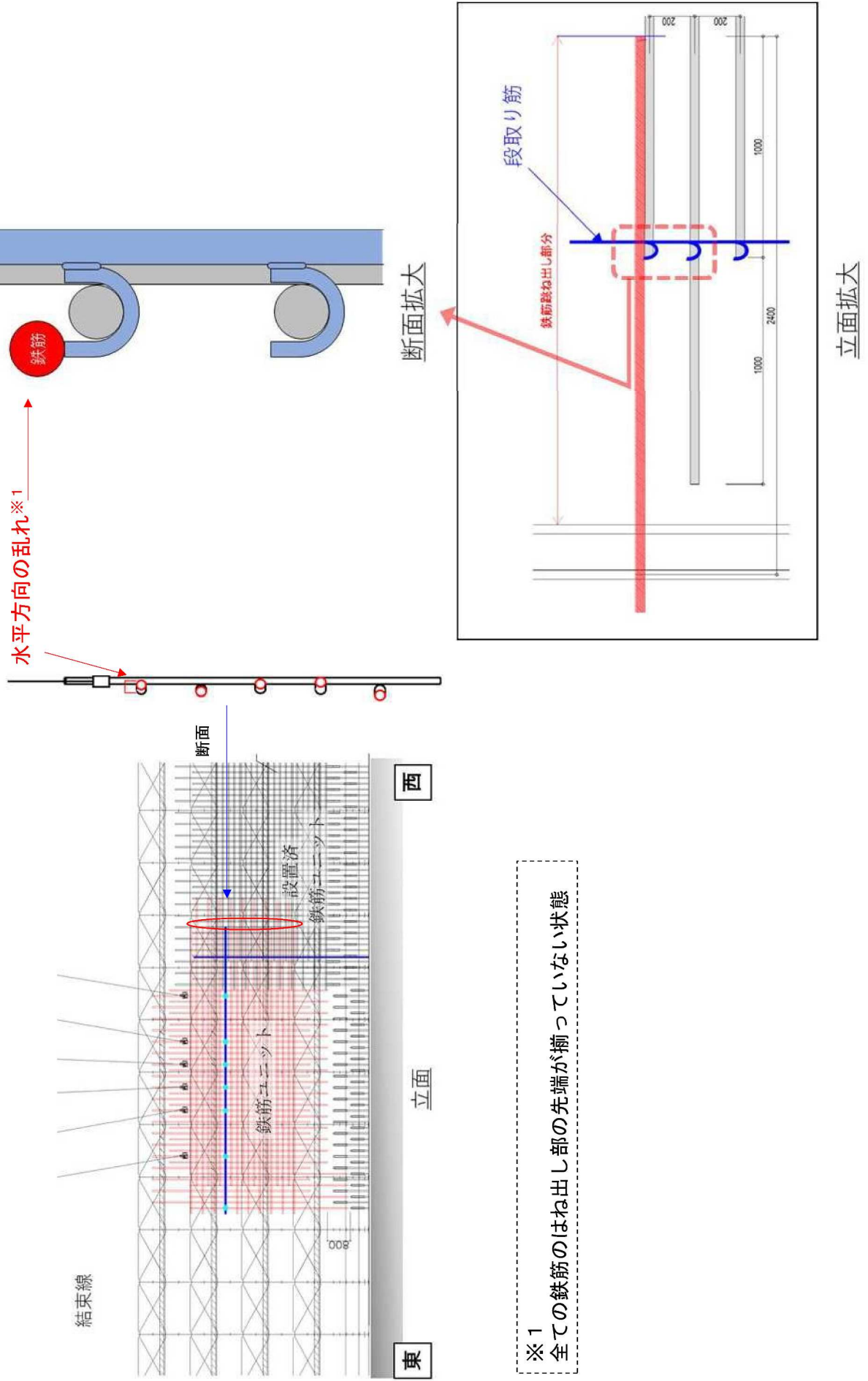
足場や段取り筋フックに
 当たらない位置で降下



鉄筋落下の推定メカニズム (2/6)

<STEP 2>

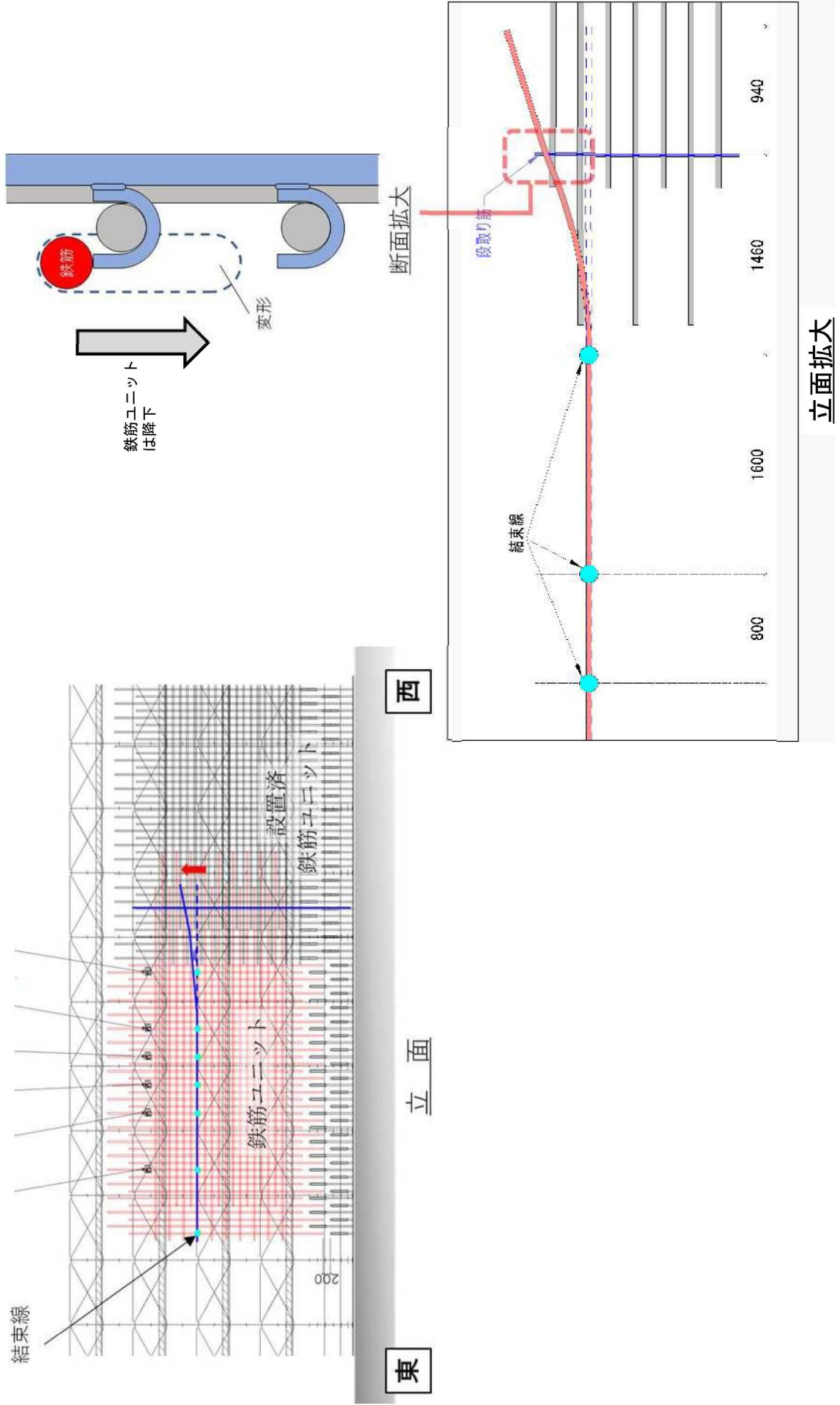
鉄筋は全ての鉄筋のはね出し部の先端が揃っていない状態が揃ったため、鉄筋ユニットのはね出し部のうち7番目の鉄筋が段取り筋フックに引っ掛かった。



鉄筋落下の推定メカニズム (3/6)

<STEP 3>

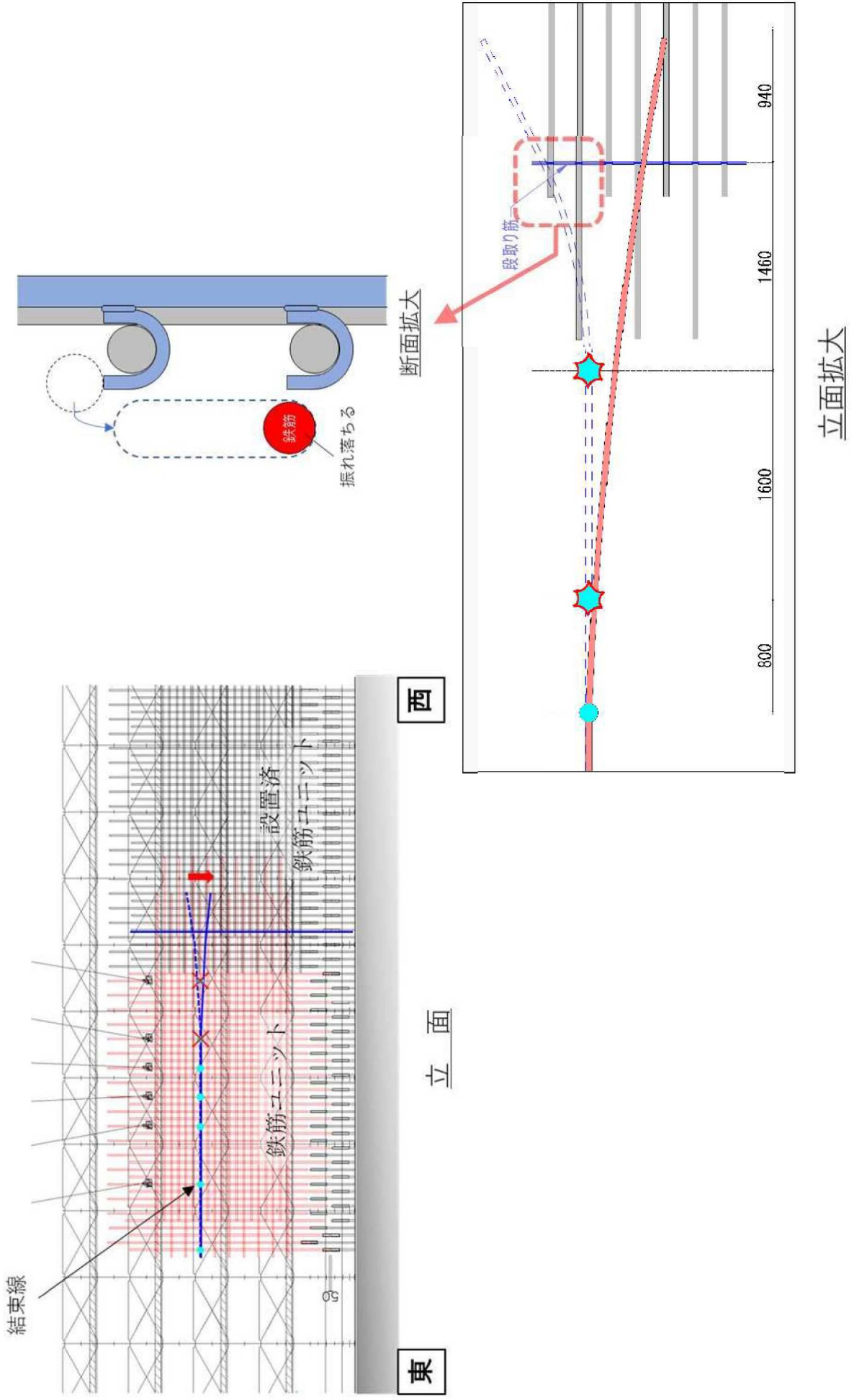
鉄筋ユニットのはね出し部の引っ掛かりに気づかず吊り降ろし作業を継続し、徐々に鉄筋ユニットのはね出し部の変形量が大きくなっていった。



鉄筋落下の推定メカニズム (4/6)

<STEP4>

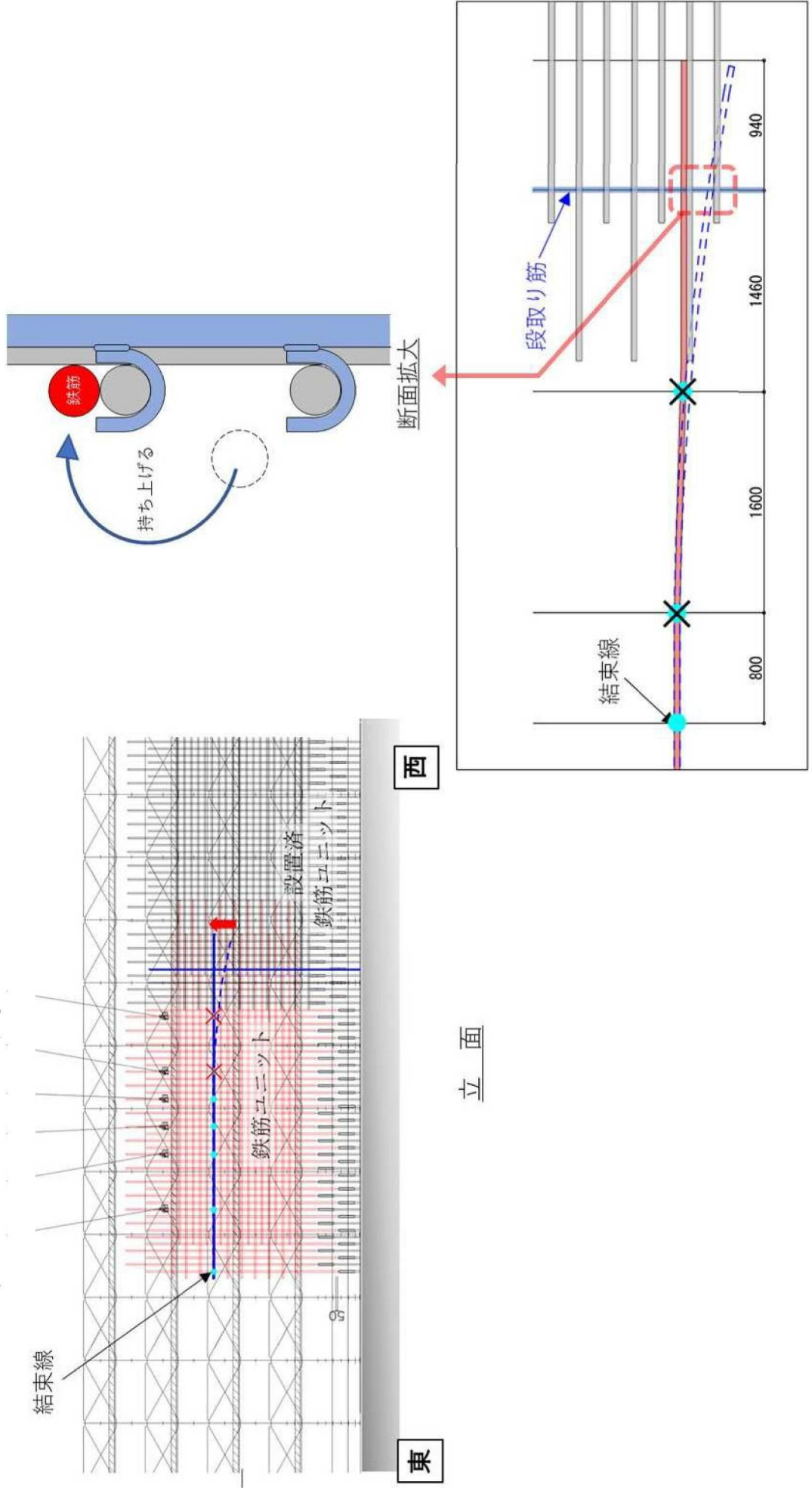
吊り降ろし作業に伴う揺れ等で、変形が大きくなった鉄筋ユニットのはね出し部が段取り筋フックから振れ落ちた際に、7箇所[※]の結束線の一部が断線した。



鉄筋落下の推定メカニズム (5/6)

<STEP5>

床側に配置された鉄筋（以降、下部鉄筋という。）と当該鉄筋ユニットを接続するために、吊り降ろし作業を下部鉄筋から上方約5cmの位置で一旦静止した際に、当該鉄筋ユニットのはね出し部が垂れ下がっていったので作業員ははね出し部の鉄筋の位置を修正した。

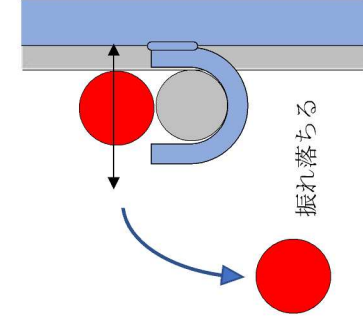
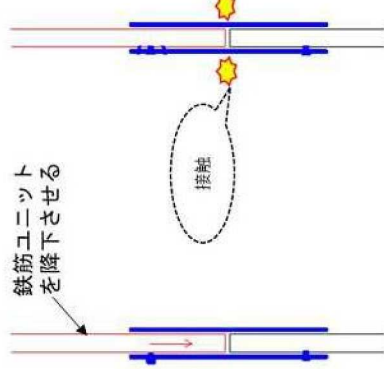
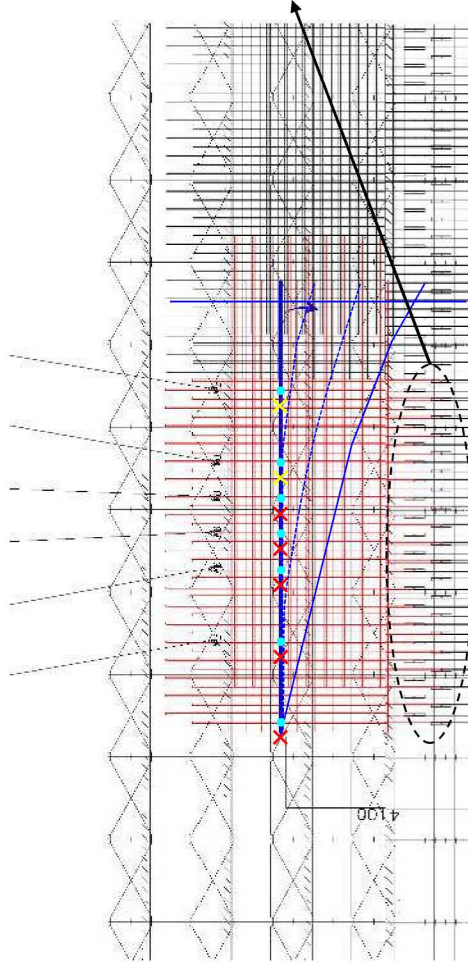


立面拡大

鉄筋落下の推定メカニズム (6/6)

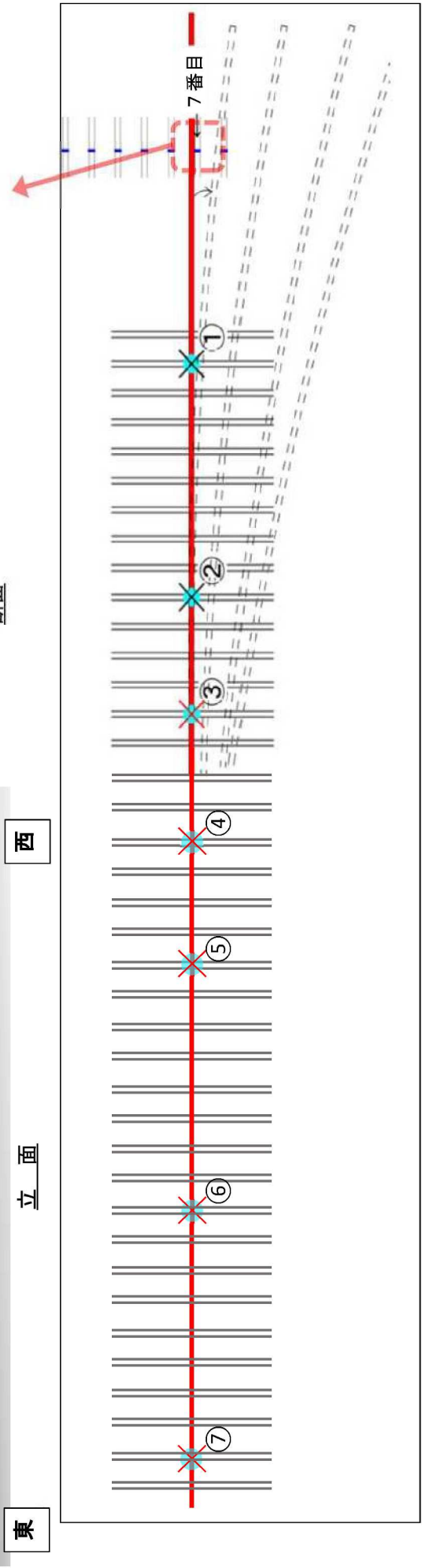
<STEP 6>

下部鉄筋の接続位置より上方約5cmから降下し、下部鉄筋と当該鉄筋ユニットが接触した衝撃で修正したはね出し部の鉄筋が段取り筋フックから外れ、振れ落ち、その振動で残りの結束線が断線し、7番目の鉄筋が落下した。



断面拡大

断面



立面拡大

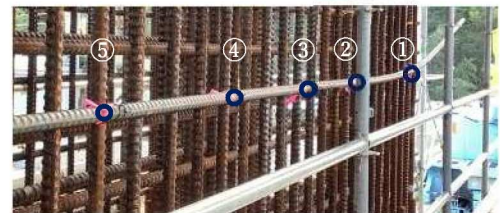
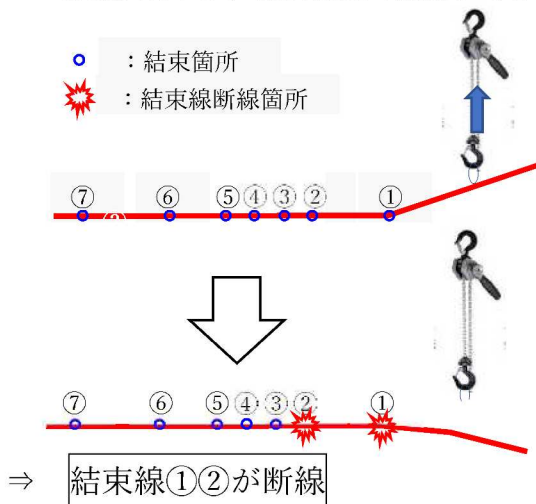
鉄筋落下の実証試験

鉄筋ユニットのはね出し部が設置済みの鉄筋に引っ掛かることで変形し、その後、引っ掛かりから振れ落ちたことで、7箇所（①～⑦）の結束箇所の一部が断線することを確認した。（添付資料—3 <STEP 4>の模擬試験）

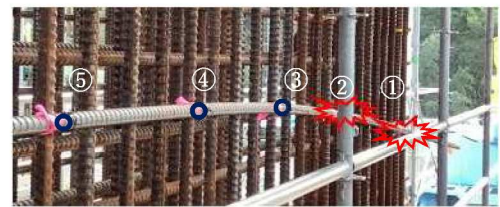
また、7箇所（①～⑦）の結束箇所の一部が断線した状態で、鉄筋ユニットのはね出し部が段取筋フックから振れ落ち、その振動で残りの結束線が断線し、鉄筋が落下することを確認した。（添付資料—3 <STEP 6>の模擬試験）

◆ 添付資料—3 <STEP 4>の模擬試験

鉄筋をチェーンブロックにより吊り上げて変形させたうえで、チェーンブロックから鉄筋を外し、結束線が断線するかを確認した。



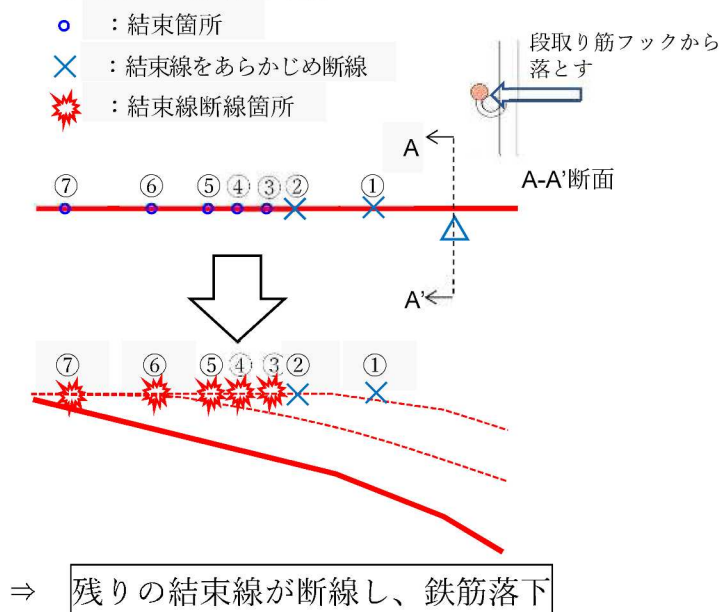
鉄筋を吊り上げ変形させた状態



チェーンブロックから鉄筋を外した後の状態
 （一部の結束線が断線）

◆ 添付資料—3 <STEP 6>の模擬試験

結束線①②が断線した状態で、鉄筋を段取筋フックから落下させ、残りの結束線が断線するかを確認した。



段取筋フックから落下させる前の状態

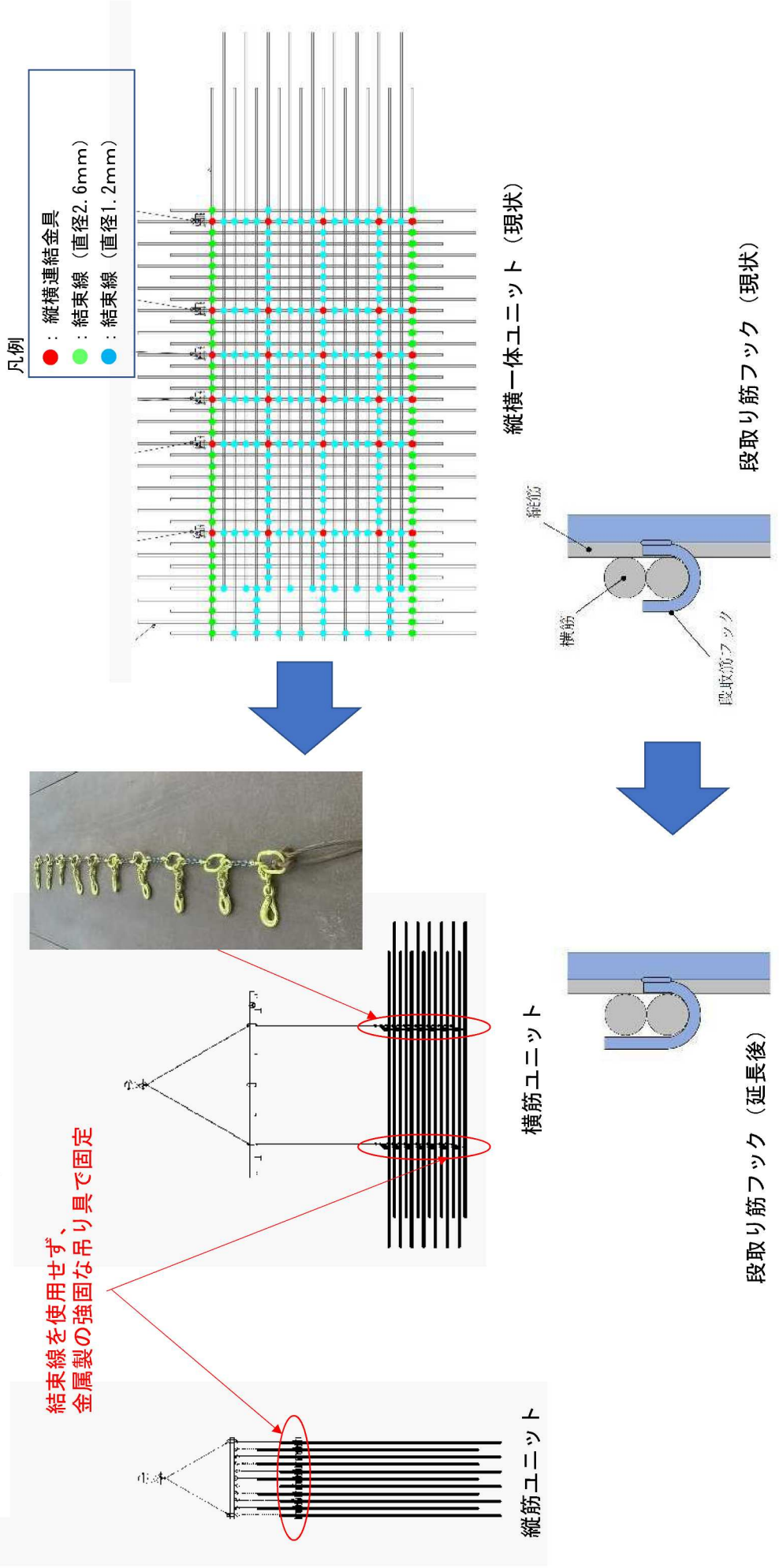


段取筋フックから落下させた後の状態
 （全ての結束線が断線し、落下）

再発防止対策の概要 (1/3)

結束線を使用しない縦筋と横筋を分割したユニット (例)

- 結束線の耐力が、鉄筋ユニットが引っ掛かった際に加わる力に対して不足していたので、縦筋ユニット、横筋ユニットに分割し、全ての鉄筋を専用の吊り具で支持できる鉄筋ユニットに変更した。
- 横筋ユニットの吊り込みにおいては、足場と縦筋ユニットに干渉しない位置で所定の高さまで降ろした後、縦筋ユニットに寄せることで、設置済の鉄筋に引っ掛けるリスクを無くすることができる。
- 吊り込み後の縦筋と横筋の結束作業が発生するが、横筋を段取り筋フックに載せることで結束時に鉄筋を落下させるリスクを無くし、足場または高所作業車から安全に作業できる環境を整備する。
- 段取り筋フック掛かり代の長さを下図のとおり鉄筋2段分に延長し、落下防止対策を実施する。

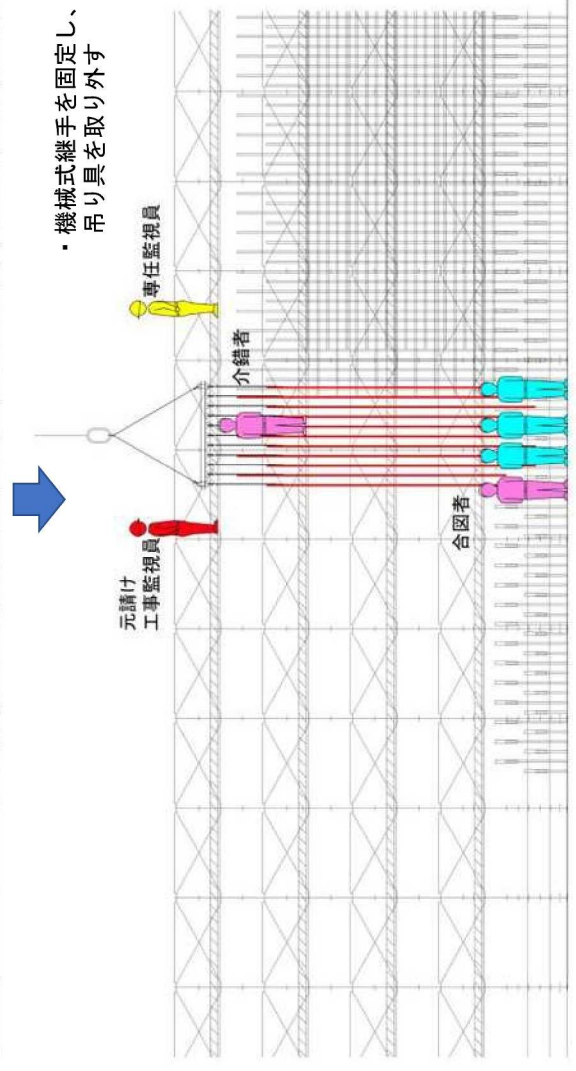
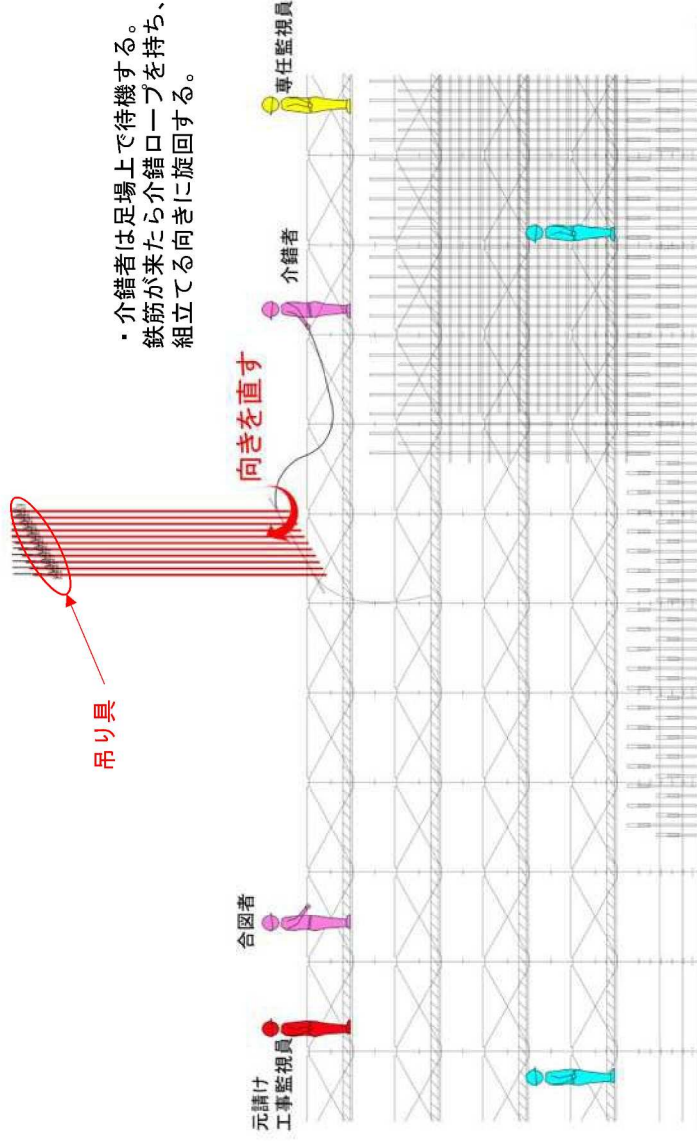


再発防止対策の概要 (2/3)

分割ユニットの施工手順

<STEP 1> 縦筋ユニットの吊り込み

- 合図者、介錯者、専任監視員の役割を明確にし、適正な位置に配置する
 - ・ 介錯者：鉄筋ユニットが介錯できる位置
 - ・ 専任監視員：鉄筋ユニットと足場、先組鉄筋の干渉が確認できる位置
 - ・ 合図者：介錯者、専任監視員との連携がとれる位置
- また、元請け工事監視員も上記従事者が見渡せる位置に配置する
- 作業員は、鉄筋ユニットの直下に入らない。



<STEP 2> 縦筋ユニットの取り付け

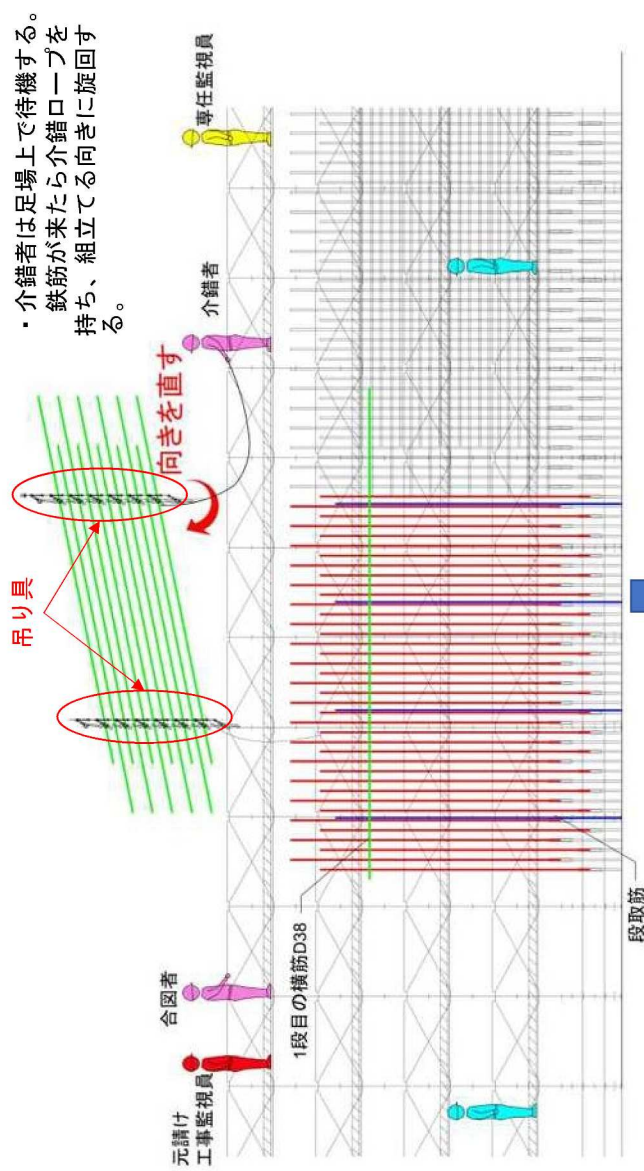
- 作業員は、縦筋ユニットの下端が床から1.5m程度まで下りてきた後、縦筋ユニットに近づき、機械式継手の接続作業を開始する。
- 機械式継手の接続作業が全て完了していることを確認し、合図者の指示で作業員を退避させ、吊り具を取り外す。

再発防止対策の概要 (3/3)

分割ユニットの施工手順

<STEP 3>横筋ユニットの吊り込み

- 縦筋ユニット設置後に、2,000mm～3,000mm間隔で段取り筋を設置する。
- 設置した段取り筋のフックに1段目の横筋を載せ、縦筋の頭を揃えるように結束する。
- 横筋ユニット吊り込み作業中は、鉄筋ユニットの直下に作業員を入れない手順とする。
- 鉄筋の引っ掛りがあった場合は、直ぐにクレーンを止め、介錯者が鉄筋の引っ掛かりを直す。



横筋を段取り筋にあずけた後、継手長さを調整し結束する。(吊り具を取り付けたまま継手長さを調整する)

<STEP 4>横筋ユニットの取り付け

- 横筋ユニットを所定の高さまで下した後、作業員がユニットに近づき、横筋を段取り筋フックに載せる。
- 継手長さの調整および確認を行い、結束する。
- 作業員は、足場または高所作業車から作業する。
- 鉄筋の結束が完了するまで、吊り具を取り外さない。

